

УДК 621.73

*А. Ю. МАТЮХІН, І. А. АЛЬФЬОРОВ, Т. А. СТЕФАНЕНКО, О. В. СТЕФАНЕНКО***СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КУВАННЯ ПОКОВОК ВИСОКОЛЕГОВАНИХ МАРОК СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ НА ГІДРОПРЕСАХ**

В роботі розглянуті способи підвищення якості кування поковок високолегованих марок сталей та сплавів на гідропресах. Одним з основних способів керування якістю готової кованої продукції є вплив на напружено-деформований стан металу. В свою чергу, на напружено-деформований стан металу має вплив ряд чинників. До основних слід віднести фактор форми, а саме форма інструменту та форма злитку. Ще одним чинником, що впливає на розподіл напружено-деформованого стану металу є кінематичний фактор, а саме кінематика впливу інструменту на заготовку. Управління температурним полем заготовки при куванні також дозволяє впливати на напружено-деформований стан заготовки і мікроструктуру металу.

Збільшення точності розмірів і зниження підсумкової розмірної похибки можливо за рахунок збільшення часу додаткових кувальних операцій вигладжування, білетування, забивання, що займає більше 40% від основного часу кування. Таким чином, це означає збільшення часу непродуктивного використання номінальної потужності преса. Одним з рішень даної проблеми може бути використання прокатної кліти для калібрування поперечних розмірів поковки.

Ключові слова: кування, гідропрес, поковка, напружено-деформований стан, білетування, забивання кутів.

*А. Ю. МАТЮХИН, И. А. АЛЬФЕРОВ, Т. А. СТЕФАНЕНКО, О. В. СТЕФАНЕНКО***СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОВКИ ПОКОВОК ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ МАРОК СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ НА ГИДРОПРЕССАХ**

В работе рассмотрены способы повышения качестваковки поковок высоколегированных марок сталей и сплавов на гидропрессах. Одним из основных способов управления качеством готовой ковальной продукции является влияние на напряженно-деформированное состояние металла. В свою очередь, на напряженно-деформированное состояние металла влияет ряд факторов. К основным следует отнести фактор формы, а именно форма инструмента и форма слитка. Еще одним фактором, влияющим на распределение напряженно-деформированного состояния металла, является кинематическая фактор, а именно кинематика влияния инструмента на заготовку. Управление температурным полем заготовки при ковке также позволяет влиять на напряженно-деформированное состояние заготовки и микроструктуру металла.

Увеличение точности размеров и снижение итоговой размерной погрешности возможно за счет увеличения времени дополнительных кузовных операций выглаживания, билетировки, забивание углов, что занимает более 40% от основного времениковки. Таким образом, это означает увеличение времени непроизводительного использования номинальной мощности преса. Одним из решений данной проблемы может быть использование прокатной клетки для калибровки поперечных размеров поковки.

Ключевые слова: ковка, гидропресс, поковка, напряженно-деформированное состояние, билетировка, забивка углов.

*А. У. МАТИУХИН, И. А. АЛФЬОРОВ, Т. А. СТЕФАНЕНКО, О. В. СТЕФАНЕНКО***METHODS FOR IMPROVING QUALITY FORGING BLANK OF HIGH-ALLOYED STEELS GRADE AND ALLOYS ON HYDROPRESSES**

The paper discusses ways to improve the quality of forging blanks of high alloy steels and alloys on hydraulic presses. One of the main ways to control the quality of finished forged products is to influence the stress-strain state of the metal. In turn, a number of factors affect the stress-strain state of a metal. The main factor should include the form factor, namely the shape of the tool and the shape of the ingot. Another factor affecting the distribution of the stress-strain state of the metal is the kinematic factor, namely, the kinematics of the influence of the tool on the workpiece. The control of the temperature field of the workpiece during forging also allows you to influence the stress-strain state of the workpiece and the microstructure of the metal.

An increase in dimensional accuracy and a decrease in the total dimensional error is possible due to an increase in the time of additional forging smoothing operations, ticketing, clogging of corners, which takes more than 40% of the main forging time. Thus, this means an increase in the time of unproductive use of the rated power of the press. One solution to this problem could be to use a rolling stand to calibrate the transverse dimensions of the forging.

Key words: forging, hydraulic press, blank, stress-strain state, billing, corner driving.

Вступ. Розробка ресурсозберігаючого технологічного процесу, заснованого на оптимальному способі кування, дозволить вивести на новий рівень якість проекрованої продукції і призведе до підвищення техніко-економічних показників виробництва. У зарубіжній і вітчизняній спеціалізованій літературі, присвяченій питанням оптимізації процесів пластичної деформації конструкційних і легованих сталей, розглядаються способи кування, що підтвердили свою практичну доцільність та пропонуються рекомендації щодо їх вдосконалення. Одне положення залишається сталим: на якість готової продукції ковальського виробництва прямий вплив має напружено-деформований стан металу. Таким чином, знаючи шляхи керування напружено-деформованого стану металу можна досягти високої якості кованих виробів та створити

ресурсозберігаючі технології процесу кування поковок високолегованих марок сталей та сплавів.

Основна частина. Розглянемо чинники, що впливають на напружено деформований стан металу. До основних слід віднести фактор форми, а саме форма інструменту. Існує велика кількість комбінацій інструменту для кування (рисунк 1). це бойки з пласкою робочою поверхнею (пласкі та зі скошеною поверхнею), комбіновані бойки (симетричні та несиметричні), профільовані бойки (вирізні, випуклі, радіальні, ступінчасті, бойки зі перехресними робочими поверхнями тощо).

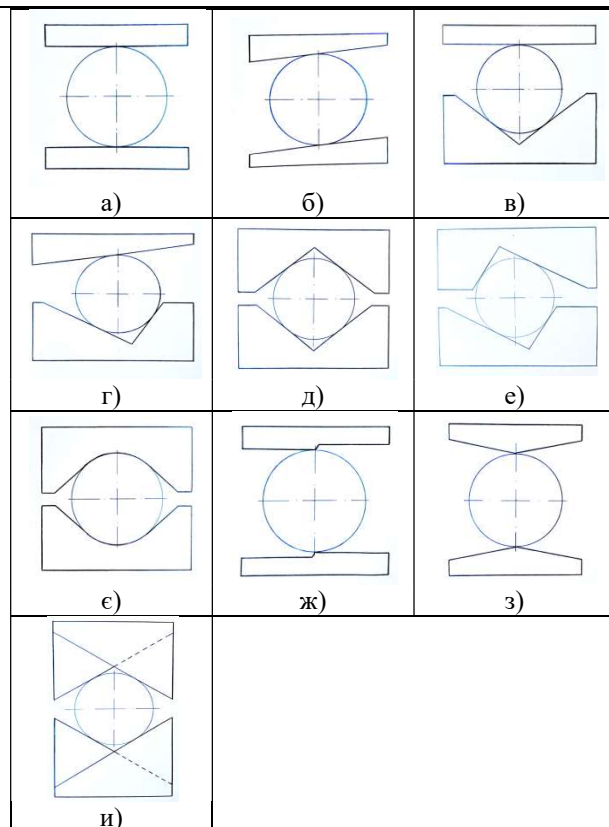


Рис. 1 – Форма інструменту, що застосовується для кування на гідропресах. Бойки з плоскою робочою поверхнею: а) плоскі; б) плоскі скошені. Комбіновані бойки: в) симетричні; г) несиметричні. Профільовані бойки: д) вирізні; е) вирізні несиметричні; є) радіальні; ж) ступінчасті; з) випуклі; и) з перехрестними робочими поверхнями

Практично всіма перерахованими бойками з однієї і тієї ж вихідної заготовки можна отримати однаковий виріб, але напружено-деформований стан заготовки в процесі кування у кожному конкретному випадку буде різним. Правильний підбір форми інструменту (бойків) сприяє поліпшенню рівномірності напружено-деформованого стану заготовки під час кування.

В роботі [1] наводяться результати експериментальних досліджень процесу протягування заготовки циліндричної форми. При куванні скошеними бойками кут скосу бойків не робить істотного впливу на заварювання дефектів. Для забезпечення найбільшого рівня зсувних деформацій в заготовці рекомендується застосування бойків з скосом 10-15° з одиничними обтискуваннями до 30%. Протягання слід здійснювати з подачею, яка дорівнює 1, або близькою до неї. Кування повинне вестися з постійним кантуванням заготовки при протягуванні за наступною схемою «обтиснення – кантування на 90° – обтиснення – кантування на 45° – обтиснення – кантування на 90° – обтиснення». Результати дослідження напруженого стану циліндричної заготовки при куванні вирізними асиметричними бойками дозволяють зробити висновок про сприятливість цієї схеми кування з точки зору

величини пластичної деформації металу в центрі заготовки.

Обтискування циліндричної заготовки ступінчастими бойками не повинне перевищувати 10-15% від діаметра заготовки. Доцільно застосовувати ступінчасті бойки з уступом, рівним 100 мм, і ходом обтиску 300 мм. При більшому обтискуванні бойками з великим уступом в поперечному перерізі заготовки спостерігається дефект у вигляді затиснення [1].

Іншим чинником фактора форми є форма злитку. До основних форм злитків слід віднести: злитки квадратного, круглого перетину, трьохпроменевий, багатогранний ковальський, слябовий злиток, плоский злиток, укорочений, безприбутковий та інше, заготовки круглого перетину, наприклад, отримані в машинах безперервного лиття (рисунк 2).

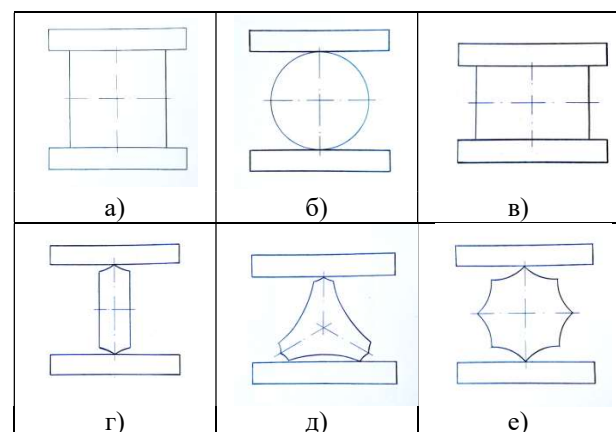


Рис. 2 – Форма злитків, що застосовується для кування на гідропресах: а) квадратний злиток; б) круглий злиток; в) слябовий злиток; г) плоский злиток; д) трьохпроменевий злиток; е) багатогранний злиток.

Кожен з даних злитків має ряд переваг і недоліків, характеризується істотними відмінностями за показниками хімічної, структурної неоднорідностей в результаті впливу ліквідаційних процесів, і, як наслідок, формує різний напружено-деформований стан виробу при куванні одним і тим же інструментом. Важливі оптимальна форма і геометричні параметри злитків.

Наступним чинником, що впливає на розподіл напружено-деформованого стану металу є кінематичний фактор, а саме кінематика впливу інструменту на заготовку. При куванні на гідравлічних кувальних пресах і кувальних молотах реалізується лінійне вертикальне переміщення деформуючого інструменту.

Практичний інтерес мають дані про зниження опору деформації при переведенні виконання операції кування з молота на гідропрес. Так для сплаву EI437A, Б (ХН77ТЮР) при температурі кування 1000°C і ступеню деформації 30% маємо зниження опору деформації з 62 кг/мм² для молота до 12 кг/мм² при куванні на пресі. Для сплаву EI617 – 104 кг/мм² на молоті та 16 кг/мм² при куванні на пресі [2].

Доцільно при розробці ресурсозберігаючого технологічного процесу врахувати ще один аспект, пов'язаний з особливостями конструкції і роботи гідравлічних пресів. На точність одержуваних розмірів

поперечного перерізу поковки впливають як власне характеристики гідравлічного преса (жорсткість конструкції, інерційність гідроприводу), так і опір заготовки деформації, який, в свою чергу, залежить від тривалості протікання в металі заготовки процесів зміцнення і знеміцнення. Згідно з даними [3] точність поперечних розмірів поковки при куванні на пресі 63 МН обмежена швидкісним прогином – 7 мм, інерційним прогином – 3,1 мм і прогином столу – 3-4 мм. Таким чином, підсумкова розмірна помилка по висоті становить 14-15 мм, що змушує збільшувати припуски на кування на цю величину.

Збільшення точності розмірів і зниження підсумкової розмірної помилки можливо за рахунок збільшення часу додаткових кувальних операцій вигладжування, білетування, забивання кутів, що займає більше 40% від основного часу кування. Таким чином, це означає збільшення часу непродуктивного використання номінальної потужності преса. Рішення даної проблеми наведено в патенті UA №48451 [4] і полягає у використанні прокатної кліті для калібрування поперечних розмірів поковки. Так, зменшення кувального розміру на величину підсумкової розмірної помилки 14-15 мм при середній довжині заготовки 4 м для сталі 4Х5МФС, 4Х5МЗФ призводить до зменшення відходу з 555 кг до 283 кг, тобто в 1,96 рази. Час обробки на обдирання і обточування штанг інструментальних сталей, що становить 11,61 години, скорочується на третину. Таким чином, продуктивність праці збільшується приблизно на 30-40%.

У свою чергу, в роботі [2] розглядається оптимізація кількості формують операцій кування шляхом розробки комбінованого процесу пластичної деформації (кування + прокатування) і виключення операцій білетування/проглажування. Склад кувальних операцій залежить від ступеня легування сталей і сплавів, котрий впливає на швидкість кристалізації. Низька швидкість рекристалізації в порівнянні зі швидкістю деформації не сприяє повному проходженню процесу знеміцнення.

У циклі кування значний час займають допоміжні операції – проглажування, білетування, забивання кутів. Так, для сплаву EI437A, ці додаткові операції складають 32,32% всього часу кування, для ЕП708-ВД – 42,6%, для високолегованої інструментальної сталі 4Х5МФС, 4Х5МЗФ – 39,93%. На цих операціях споживана потужність не перевищує 0,03-0,04 номінального зусилля преса Рн. Отже, виключення допоміжних кувальних операцій і виконання їх, наприклад, окремої обгисної кліті компактного прокатного стану, встановленого в лінії кувального агрегату, дозволить підвищити продуктивність роботи преса в середньому в 1,4 рази. Обгиска кліть буде розрахована тільки на калібрування розмірів поперечного перерізу кованої заготовки з невеликими значеннями відносного обгиску. Можливе застосування спеціального вагона-термоса для передачі кованої заготовки температури кінця кування

на окремий (не в лінії кувального агрегату) прокатний стан. Зусилля прокатки (калібрування), розраховане згідно залежностей [5], не перевищує 2,5-4,0 МН, а споживана потужність кліті не перевищує 200 кВт при швидкості прокатування 1м/с.

Управління механічним режимом включає в себе варіювання величиною подачі заготовки, її обгисненням, послідовністю кантування, що істотно впливає на деформований стан заготовки. Для визначення оптимального режиму кування, завданням якого на першому етапі є трансформація дендритної структури злитка в волокнисту структуру заготовки, а на другому етапі – отримання дрібнозернистої структури, необхідно враховувати масштабні рівні пластичної деформації металів [6], представлені в таблиці 1.

Тому при куванні злитків в мегамакромасштабному інтервалі пластичної деформації основними параметрами кування є ступінь деформації, температура і час витримки при цій температурі, які повинні бути на рівні максимально допустимих, а волокно (осі дендритів 1-го порядку) в заготовці має бути орієнтоване в напрямку дії максимальних робочих напружень в готовому виробі. Другий період кування, спрямований на формування дрібнозернистої структури в поковці, охоплює два масштабних рівня (мезо I, мікро) і відповідно два структурних рівня (дрібнозерниста і дислокаційна структури). Одним з головних параметрів, що впливають на досягнення дрібнозернистої структури в крупних поковках, є швидкість деформації.

Таблиця 1. Масштабні рівні пластичної деформації металів при куванні

Найменування рівня	Структура рівня
Мега	Дендритна
Мезо {d-f}	Дендритно-волокниста
Макро	Волокниста
Мезо II	Крупнозерниста
Мезо I	Дрібнозерниста з дислокаційними ансамблями
Мікро	Дислокаційна
Мезо {m-n}	Ультрамикрокристалічна
Нано	Наноструктура (атомно-молекулярна)

Крім вище зазначеного, у реальних виробничих умовах багатьох підприємств технологи стикаються з проблемами тріщиноутворенням, незаковами, великим зерном, відхиленнями геометрії від заданої і іншими дефектами, причиною яких є нестабільність технологічного виходу при використовуваному термомеханічному режимі. Важливо виділити і зменшити негативний вплив на якість виробу і процесу конкретного фактора, наприклад, нерівномірності

температурного поля або температури нагріву під деформацію.

Управління температурним полем заготовки при куванні дозволяє впливати на напружено-деформований стан заготовки і мікроструктуру. Заготовка може мати різний вигляд температурного поля: однорідне температурне поле, неоднорідне симетричне з різним видом розподілу температур по перетину і неоднорідне несиметричне.

Вплив температурного поля на напружено-деформований стан металу розглянуто в роботі [7]. За думкою автора, протягання циліндричної заготовки раціонально і технологічно виправдано виконувати наступним чином :

– для кування плоскими бойками: при наявності рівномірного температурного поля заготовки протяжку здійснювати з відносною подачею від 0,5 до 1,1 і величиною відносного обтиску, що дорівнює 0,1...0,2. Після падіння температури поверхні заготовки в процесі кування до 1000°C слід здійснювати протягання з відносною подачею 0,5 ... 1,1 і величиною обтиску 0,1...0,15. При досягненні поверхні заготовки температури 900°C необхідно здійснювати протягання з відносною подачею від 0,3 до 1,1 з тією ж величиною обтиску, а при падінні температури поверхні ще на 100°C необхідно зменшити величину обтиску до 0,05...0,1 при тих же подачах. Рекомендується при наступному проході здійснювати протягання зі зміщенням заготовки на половину ширини бойка, що дозволить забезпечити більш рівномірний розподіл інтенсивності логарифмічних деформацій уздовж осі заготовки.

– для кування комбінованими бойками: при наявності рівномірного температурного поля заготовки протягання здійснювати з відносною подачею від 0,3 до 0,5 і величиною обтиску рівній 0,15...0,25. Після падіння температури поверхні заготовки в процесі кування до 1000°C слід здійснювати протягання з відносною подачею 0,5...0,7 і величиною обтиску 0,2...0,25. При досягненні поверхні заготовки температури 900°C необхідно здійснювати протягання з відносною подачею від 0,7 до 1,1 з тією ж величиною обтиску, а при падінні температури поверхні ще на 100°C необхідно зменшити величину обтиску до 0,15...0,2 при тих же подачах.

Кування заготовки з нерівномірним температурним полем (заготовка з двома низькотемпературними симетрично розташованими зонами) [8] дозволяє підвищити рівень зсувних деформацій, поліпшити напружено-деформований стан центральної частини заготовки. Нагріта циліндрична заготовка перед куванням плоскими бойками піддається охолодженню з двох сторін, таким чином, щоб в заготовці виникло нерівномірне температурне поле з локальними низькотемпературними зонами, розташованими з двох сторін заготовки симетрично один до одного. Після охолодження поверхні заготовки до певної температури її встановлюють в плоскі бойки таким чином, щоб утворився кут α між плоскою поверхнею

бойків і нижньою межею низькотемпературної зони заготовки, після чого починають обтискання заготовки бойками, що дозволяє отримувати поковки типу валів з підвищеними механічними властивостями при мінімальних уковах в плоских бойків.

З іншого боку, при протягуванні з нерівномірним температурним полем показник жорсткості напруженого стану вище в 4 рази. Зі збільшенням показника жорсткості напруженого стану пластичність металу знижується.

Висновки. Встановлено основні напрямки вдосконалення технологічних процесів кування поковок циліндричної форми (пруток, штанга):

– зміна геометрії інструменту або оптимальна комбінація інструменту різної геометрії,

– передача виконання допоміжних операцій пластичного деформування (білетіровка, прогладжування) з кувального комплексу на прокатну кліть для підвищення коефіцієнта використання виробничих потужностей обладнання. Прокатна кліть може бути встановлена в одній лінії з кувальним комплексом. Прогладжування сорту в прокатній кліті дозволить істотно знизити припуски на механічну обробку, що в свою чергу значно підвищить продуктивність ад'юстажних ділянок і вихід придатної товарної продукції,

– скорочення часу винесення металу на кування (організаційні заходи – чіткий регламент дій, маніпулятори),

– врахування температури внутрішнього розігріву за рахунок теплоти, яка буде утворена при деформації, при нагріванні злитка (заготовки) під кування,

– математичне моделювання процесу кування за критерієм впливу швидкості і ступеня деформації на структуру (зерно) сталі, виключення або зниження утворення поверхневих дефектів (тріщин) і, відповідно, підвищення виходу придатної металопродукції.

Список літератури

1. Жбанков Я.Г. Развитие научных основ процессов пластического деформирования и совершенствование технологийковки крупных поковок/дис. на соискание доктора техн.наук / Я. Г. Жбанков – Краматорск, 2016.-594 с: ил.
2. Підвищення продуктивності кування крупного сорту на гідравлічних пресах/[Д.В. Обдул, В.Д. Обдул, В.В. Дувинг, В.І. Третяк]/Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні.-2009.-№2.-С.73-75.
3. Золотухин Н.М. Экспериментальное исследование сопротивления поковок деформированию при протяжке / Н.М. Золотухин, О.М. Шинкаренко//Кузнечно-штамповочное производство. – 1980. – №3. – С.3-5.
4. Патент на корисну модель UA №48451 МПК В 21 J 5/00. Спосіб кування сортового металу / Д.В. Обдул, В.Д. Обдул, В.В. Чигиринський, О.В. Дергачев, В.В. Дувинг (Україна) – №48451; заявл. 21.09.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. №5.
5. Целиков А.И. Теория продольной прокатки/А.И. Целиков, Г.С. Никотин, С.Е. Рокотян. М.: Металлургия, 1980.-320с.
6. Онищенко А.К. Масштабные уровни пластической деформации и термомеханические параметрыковки слитков и заготовок/А.К. Онищенко// Кузнечно-штамповочное производство. –2009.– №4.-С.9-12.
7. Заблоцкий В.К. Протяжка заготовок с неоднородным температурным полем//В.К. Заблоцкий, Я.Г. Жбанков, А.А. Швец, В.В. Панов//Научный вестник ДГМА.– 2013. – №2(12Е). – С.52-62.

8. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. Учебное пособие. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.-560 с.

References (transliterated)

1. Zhbakov Ya.G. Razvitiye nauchny'kh osnov protsessov plasticheskogo deformirovaniya i sovershenstvovanie tekhnologiy kovki krupny'kh pokovok/dis. na soiskanie doktora tekhn.nauk / Ya. G. Zhbakov – Kramatorsk, 2016.-594 p: il.
2. Pi'dvishhennya produktivnosti' kuvannya krupnogo sortu na gi'dravli'chnikh presakh/[D.V. Abdul, V.D. Abdul, V.V. Duving, V.I. Tretyak]/Novi' materi'ali i' tekhnologiyi v metallurgiyi ta mashinobuduvanni'.-2009.-No.2.-P.73-75.
3. Zolotukhin N.M. E'ksperimental'noe issledovanie soprotivleniya pokovok deformirovaniyu pri protyazhke / N.M. Zolotukhin, O.M. Shinkarenko//Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo. – 1980. – No.3. – P.3-5.
4. Patent na korisnu model' UA #48451 MPK V 21 J 5/00. Sposib kuvannya sortovogo metalu / D.V. Abdul, V.D. Abdul, V.V. Chigirinskij, O.V. Dergachev, V.V. Duving (Ukrayina) – No.48451; zayavl. 21.09.2009; opubl. 10.03.2010, Byul. No.5.
5. Czelikov A.I. Teoriya prodol'noj prokatki/A.I. Czelikov, G.S. Nikotin, S.E. Rokotyan. Moscow.: Metallurgiya, 1980.-320p.
6. Onishhenko A.K. Masshtabny'e urovni plasticheskoy deformatsii termomekhanicheskie parametry' kovki slitkov i zagotovok/A.K. Onishhenko// Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo. –2009.– No.4.-P.9-12.
7. Zabloczkij V.K. Prottyazhka zagotovok s neodnorodny'm temperaturny'm polem//V.K. Zabloczkij, Ya.G. Zhbakov, A.A. Shvecz, V.V. Panov//Nauchny'j vestnik DGMA.– 2013. – No. 2 (12E). – P.52-62.
8. Birger I.A., Mavlyutov R.R. Soprotivlenie materialov. Uchebnoe posobie. – Moscow.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat.lit., 1986.-560 p.

Надійшла (received) 10.11.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Матюхін Антон Юрійович (Матюхин Антон Юрьевич, Matiukhin Anton Yuriyovich) – кандидат технічних наук, Національний університет «Запорізька політехніка», доцент кафедри «Обробка металів тиском»; м. Запоріжжя, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-0577>; e-mail: mco2005@i.ua

Алфьоров Ігор Анатолійович (Алферов Игорь Анатольевич, Alfeyorov Igor Anatolyevich) – начальник Управління якості ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»; м. Запоріжжя, Україна; e-mail: alferov.igor@dss.com.ua

Стефаненко Тетяна Анатоліївна (Стефаненко Татьяна Анатольевна, Stefanenko Tetiana Anatolievna) – провідний інженер відділу СМЯ ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»; м. Запоріжжя, Україна; e-mail: stefanenko.tat@dss.com.ua

Стефаненко Оксана Віталіївна (Стефаненко Оксана Витальевна, Stefanenko Oksana Vitaliyevna) – Національний університет «Запорізька політехніка», студентка кафедри «Обробка металів тиском»; м. Запоріжжя, Україна; e-mail: oksana27081997@gmail.com